

一种雷电拦截装置

本申请要求于 2022 年 04 月 19 日提交中国专利局、申请号为 202210410008.X、发明名称为“一种雷电拦截装置”的中国专利申请的优先权，其全部内容通过引用结合在本申请中。

5 技术领域

本申请涉及雷电拦截技术领域，尤其涉及一种雷电拦截装置。

背景技术

在实际应用过程中，随着科学技术的发展，对直接雷击防护技术的研究也取得了进步。目前针对直接雷击的防护，全球普遍使用的是避雷针。
10 避雷针一般由一段其端部为针状的导电金属材料组成。

在雷电下行先导电场的作用下，避雷针可以感应出比其它非金属物体更强、与下行先导电荷极性相反的向上发展的上行先导，上行先导与下行
15 先导相连接，从而建立雷电放电的通道。经研究发现，避雷针产生的上行
15 先导的长度平均约50m，由上行先导与下行先导连接构建的雷电放电通道
可以拦截即将发生的雷击，并为雷电流提供一个安全的入地路径，起到吸引
和拦截雷电的作用，使被保护物体避免遭受直击雷的损害。

相对于被保护的物体，雷电的运动路径可分为过顶运动或侧面运动两种
情况，因此，雷击电流包括过顶雷击电流及侧面雷击电流。但常用的避
20 雷针由于对过顶雷云所产生的上行先导不够长，其接过顶雷击电流或侧面
雷击电流能力较差，即对过顶雷击电流或侧面雷击接闪的能力较差。因此，
如何提高雷电拦截装置所产生的上行先导的长度、并能衰减雷电流、拦截
直接雷击和侧面雷击，以提高雷电拦截装置的雷电拦截效果是人们一直关
注的问题。

25

发明内容

本申请旨在解决上述避雷针的技术缺陷，有鉴于此，本申请提供了一种雷电拦截装置，用于解决现有技术中避雷接闪装置产生的上行电导不够长的技术缺陷。

一种雷电拦截装置，包括：

- 5 若干接闪针、拦截器球体、球体连接器、波导谐振主腔体、波导谐振副腔体、配谐器；所述接闪针、所述拦截器球体、所述球体连接器、所述波导谐振主腔体、所述波导谐振副腔体、所述配谐器的材质均为金属；

若干所述接闪针分别从垂直方向及水平方向与所述拦截器球体的表面连接，所述拦截器球体、所述球体连接器、所述波导谐振主腔体、所述波
10 导谐振副腔体、所述配谐器依次连接；

所述接闪针用于从垂直方向和水平方向接雷击电流；

所述球体连接器用于维持所述拦截器球体与所述波导谐振主腔体之间的电气通路；

所述拦截器球体用于将所述波导谐振主腔体传给若干接闪针的电荷均
15 匀分布；

当地表电场强度达到预设启动阈值时，所述波导谐振副腔体内置的可变电容器导通，并基于地表电场的电荷极性，将雷电拦截装置的电荷极性变换为与地表电场的电荷极性相同的电荷极性；并调节所述波导谐振主腔体的谐振电路的启动电压，使得所述波导谐振主腔体的谐振电路开始谐振；

20 所述波导谐振主腔体内置谐振电路，在所述波导谐振副腔体的调节下，所述谐振电路的谐振频率达到预设的频率，产生比地表电场强度高Q倍的电压，并传输到若干所述接闪针的尖端，产生预设长度的目标上行先导；当雷电的下行先导与所述目标上行先导连接时，形成雷电放电通道，将雷击电流泄放到地面；

25 所述配谐器用于调节所述波导谐振主腔体和所述波导谐振副腔体内的分布参数。

优选地，当雷击电流放电时，所述波导谐振副腔体的可变电容器用于将伴随雷击电流放电产生的连续电流进行隔离，以实现衰减雷击电流。

优选地，所述当雷击电流放电时，所述波导谐振副腔体的可变电容器

将伴随雷击电流放电产生的连续电流进行隔离，以实现衰减雷击电流的过程，包括：

当雷击电流放电时，所述波导谐振副腔体内置的可变电容器将伴随雷击电流产生的连续电流隔离；

- 5 并将所述连续电流的电磁波进行全反射，把连续电流的电能转化为热能，以实现衰减雷击电流。

优选地，所述波导谐振主腔体还包括：振幅频谱选择器，

- 所述波导谐振主腔体的振幅频谱选择器用于基于所述雷击电流的双指数波特点识别并确定雷击电流的振幅频谱和能量频谱，以供所述波导谐振
10 主腔体基于雷击电流的振幅频谱和能量频谱，对雷击电流进行衰减。

优选地，所述波导谐振主腔体内置的谐振电路，包括：圆形单导体；

所述圆形单导体包括横电模或横磁模；

所述圆形单导体用于提高雷电拦截装置的电压倍增的值，并引导电磁波能量定向传播。

- 15 优选地，所述波导谐振主腔体和所述波导谐振副腔体内的分布参数，包括：电感和电容。

优选地，该装置还包括：腔体锁；

所述腔体锁的一端与所述波导谐振副腔体连接，另一端与所述配谐器连接，

- 20 所述腔体锁用于锁定所述波导谐振副腔体，以将所述波导谐振副腔体和所述波导谐振主腔体与外界空气隔离。

优选地，该装置还包括：紧固装置；

所述紧固装置一端与所述配谐器连接，

所述紧固装置用于将雷电拦截装置固定于待保护的建筑物。

- 25 优选地，所述配谐器为预设长度、预设直径的圆形金属管或圆形金属杆。

从以上技术方案可以看出，本申请中所述接闪针、所述拦截器球体、所述球体连接器、所述波导谐振主腔体、所述波导谐振副腔体、所述配谐器的材质均为金属，可以使得所述雷电拦截装置的性能更好，以便可以更

好地将雷击电流引流至地面，即更好地拦截雷电和衰减雷击电流。

所述接闪针可以用于从垂直方向和水平方向接雷击电流以拦截雷电。

所述球体连接器可以用于维持所述拦截器球体与所述波导谐振主腔体之间的电气通路，使得所述波导谐振主腔体可以将电荷传输到所述拦截器球体。

- 5 所述拦截器球体可以用于将所述波导谐振主腔体的电荷传给若干接闪针并均匀分布。当地表电场强度达到预设启动阈值时，所述波导谐振副腔体内置的可变电容器可以导通，并基于地表电场的电荷极性，可以将雷电拦截装置的电荷极性变换为与地表电场的电荷极性相同的电荷极性；还可以调节所述波导谐振主腔体的谐振电路的启动电压，使得所述波导谐振主腔体的
- 10 谐振电路开始谐振，以产生预设的谐振频率。所述波导谐振主腔体内置谐振电路，在所述波导谐振副腔体的调节下，所述谐振电路的谐振频率可以达到预设的频率，由此可以产生比地表的电场强度高 Q 倍的电压，并将所产生的比地表电场强度高 Q 倍的电压传输到若干所述接闪针的尖端，使得若干接闪针的针端周围的空气发生电离，由此可以产生长度足够长的目标
- 15 上行先导；以便于当雷电的下行先导与所述目标上行先导连接时，所述波导谐振主腔体可以形成雷电放电通道，有效地将雷击电流泄放到地面。所述配谐器可以用于调节所述波导谐振主腔体和所述波导谐振副腔体内的分布参数，以保证所述波导谐振主腔体与所述波导谐振副腔体的正常工作。

- 本申请实施例可以产生足够长的目标上行先导，以构建雷电放电通道，
- 20 并采取若干接闪针来接引不同方向的过顶雷击电流及侧面雷击电流，有效衰减不同方向的雷击电流及减小雷电电磁场强度，因此，本申请可以适用于需要预防直接雷击电流和感应雷击电流的建筑物，尤其适合使用在海陆风电或高压送电系统或高铁接触网等建筑物中，可以独立安装在待保护的建筑物中，起到有效拦截来自不同方向的雷击电流的作用。不仅提高了待
- 25 保护的建筑物的安全性，并且节约了使用成本。

附图说明

为了更清楚地说明本申请实施例或现有技术中的技术方案，下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍，显而易见地，

下面描述中的附图仅仅是本申请的一些实施例，对于本领域普通技术人员来讲，在不付出创造性劳动的前提下，还可以根据这些附图获得其它的附图。

- 图1为本申请实施例提供的一种雷电拦截装置结构示意图；
- 5 图2为本申请实施例示例的一种雷电拦截装置在静态时的等效电路示意图；
- 图3为本申请实施例示例的一种雷电拦截装置在发生上行先导时的等效电路示意图；
- 图4为本申请实施例示例的一种雷电拦截装置在上行先导与雷击电流
- 10 的下行先导连接构成雷电放电通道时的等效电路示意图；
- 图5为本申请实施例示例的一种雷电拦截装置抑制连续电流时的等效电路示意图；
- 图6为本申请实施例示例的另一种雷电拦截装置结构示意图；
- 图7为本申请实施例示例的另一种雷电拦截装置结构示意图；
- 15 其中，附图中的附图标记与部件之间的对应关系为：
- 接闪针 1、拦截器球体 2、球体连接器 3、波导谐振主腔体 4、波导谐振副腔体 5、配谐器 6、腔体锁 7、紧固装置 8。

具体实施方式

- 20 下面将结合本申请实施例中的附图，对本申请实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述，显然，所描述的实施例仅仅是本申请一部分实施例，而不是全部的实施例。基于本申请中的实施例，本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例，都属于本申请保护的
- 范围。
- 25 当雷击发生时，雷云电场会有雷电放电的过程，雷电放电是自然界电磁波运动的一种特定形式。从光学的角度看，雷电放电可见为一闪而过的白光，这束白光受色散理论的约束。
- 雷电放电的过程可以简单的分为五个阶段。第一阶段：产生上行先导和下行先导；第二阶段：上行先导与下行先导连接后的电荷首次回击；第

三阶段：产生雷电的箭式先导；第四阶段：发生电荷的继后回击产生连续电流和 M 分量，即产生的继后回击、连续电流和 M 分量；第五阶段：发生末次回击。

其中，

5 (1) 上行先导和下行先导的过程如下：

一般来说，雷云的内部电荷极性可分为上层电荷的极性为正极、下层电荷的极性为负极。通常，雷云的电场强度可达 50-100MV，当发生雷雨天气时，如达到空气击穿阈值时，雷云内部会发生放电现象，称为预击穿过程，为形成下行先导提供条件。其中，雷云的下行先导是指当雷云底部
10 的电场强度达到空气击穿阈值时，空气电离，开始形成向下运动的流光，每次向下电离空气的距离平均约 50m，从时序上看像梯级一样，故称梯级先导，又称下行先导。

一般来说，受雷电的下行先导底部电场的影响，避雷接闪装置的针端部感应出与下行先导底部电场极性相反的电荷，当其电场强度达到 10kV/m
15 时就发生电晕，产生方向向上的电晕电流（流光），这个向上的电晕电流称为雷电的上行先导。其中，常用的避雷接闪装置可以产生的上行先导的长度平均约为 50 米。雷电的上行先导与雷电的下行先导受库仑力的约束，分别作相对运动，为上行先导与下行先导连接提供必要条件。

(2) 上行先导与下行先导连接后的电荷首次回击过程如下：

20 当雷电的下行先导发展到距避雷接闪装置的针端部大约 100m 左右，可以与雷电的下行先导连接。雷电的上行先导端部与雷电的下行先导端部相连接的距离叫击距。通常，击距的大小与雷电放电电流的幅值相关。雷电的上行先导与雷电的下行先导连接后，在避雷接闪装置中可以形成放电通道，电荷从大地沿着放电通道冲向云端去中和放电通道和雷云的电荷，
25 这一过程称为电荷的首次回击。

(3) 发生箭式先导的过程如下：

雷电发生箭式先导主要是在首次雷击发生后，电荷沿着雷击通道运动，由于其运动路径从雷击通道顶部直到底部，形状像箭一样而得名。它是电荷首次回击与电荷继后回击之间的过渡过程，起到承上启下的作用。

(4) 发生电荷的继后回击、连续电流和 M 分量的过程如下:

电荷的继后回击一般在箭式先导结束后开始, 不断重复首次回击的放电过程。因为每个回击都是一个脉冲, 多次回击组成一组有时间间隔的脉冲串。

- 5 一般来说, 从首次回击建立雷击通道后, 雷击通道中存在着维持雷击通道的电荷直到放电结束。在继后回击的多个回击之间, 可以见到在脉冲底部有运动方向不变的脉动电流, 叫连续电流。连续电流定义为紧接回击过程的较低幅值电流, 是雷击通道中雷电流的脉动直流分量。

- 10 在连续电流的上面可见几个小脉冲, 叫 M 分量, 也是雷电对地转移电荷的三种形式之一, 其中, 雷电对地转移电荷有回击脉冲, 连续电流, M 分量等三种形式。连续电流可以转移大量的电荷, 约占 50%, 但同时也会产生包括热效应在内的最严重的雷击损坏。根据有关统计, 每次雷电放电全程平均会有 3-5 个回击。

(5) 末次回击的过程如下:

- 15 国际大电网会议 CIGRE2013《雷电参数的工程应用》指出“雷电首次回击的电流峰值通常比随后的继后回击电流峰值大 2 到 3 倍。然而, 大约三分之一的地闪包含至少一个具有大电场峰值的继后回击。理论上, 继后回击的电流峰值也应大于首次回击, 大于首次回击的继后回击可能对供电线路和其它系统构成了额外的威胁”。末次回击指的是雷电最后的回击, 其特点是前一个回击到末次回击之间通常有一个长达 300-400ms 的时间间隔, 幅值大于首次回击, 参数与首次回击类似。

- 20 常用的避雷接闪装置产生的上行先导的长度有限, 不能有效衰减雷击电流及雷击电磁场的强度。因此无法有效拦截直接雷击。此外, 常用的避雷接闪装置对地面的保护半径采用滚球法或保护角法: 利用保护角法来计算可以保护地面半径为避雷接闪装置高度的 1.5 倍, 保护范围是一个 45° 的锥角范围。因此, 常用的避雷接闪装置的保护范围较小, 建筑物通常不能单独使用一个避雷接闪装置来避雷, 一般采用多个避雷接闪装置组成避雷网格或避雷带来保护建筑物。

基于此, 本申请提供一种雷电拦截装置, 所述雷电拦截装置可以产生

足够长的上行先导、并有效衰减雷击电流、减小雷电电磁场的强度，有效拦截直击雷和侧击雷。

下面结合图 1，介绍本申请实施例给出的雷电拦截装置，如图 1 所示，该雷电拦截装置可以包括：若干接闪针 1、拦截器球体 2、球体连接器 3、
5 波导谐振主腔体 4、波导谐振副腔体 5、配谐器 6；

若干所述接闪针 1 分别从垂直方向及水平方向与所述拦截器球体 2 的表面连接；所述拦截器球体 2、所述球体连接器 3、所述波导谐振主腔体 4、所述波导谐振副腔体 5、所述配谐器 6 依次连接；

其中，

10 所述接闪针 1、所述拦截器球体 2、所述球体连接器 3、所述波导谐振主腔体 4、所述波导谐振副腔体 5、所述配谐器 6 的材质均为金属，可以使得所述雷电拦截装置的性能更好，以便可以更好地将雷击电流引流至地面，即更好地拦截雷电和衰减雷击电流。

在雷雨天气，高层建筑物上空出现带电云层时，高层建筑物的顶部会被感应上大量电荷，由上述介绍可知，雷击电流包括过顶雷击电流及侧面雷击电流。若干接闪针 1 可以用于从不同方向接过顶雷击电流和侧击雷击电流，即拦截过顶雷击和侧面雷击。此外，将所述接闪针 1 的一端设置为尖端，可以在发生静电感应时，将大部分的电荷聚集在所述接闪针 1 的尖端一端。由此，所述接闪针 1 又与带电云层形成了一个电容器，由于所述
15 接闪针 1 的一端较尖，即这个电容器的两极板正对面积很小，电容也就很小，也就是说所述接闪针 1 所能容纳的电荷很少，但所述接闪针 1 又聚集了大部分电荷，所以，当带电的云层上电荷较多时，所述接闪针 1 与云层之间的空气就很容易被击穿。这样，带电云层与避雷接闪装置形成通路。由于所述球体连接器 3 可以用于维持所述拦截器球体 2 与所述波导谐振主腔体 4 之间的电气通路，使得所述波导谐振主腔体 4 可以将电荷传输到所
20 述拦截器球体 2。所以，所述接闪针 1 通过所述拦截器球体 2、所述球体连接器 3、所述波导谐振主腔体 4、所述波导谐振副腔体 5、所述配谐器 6 与大地连接，因此，所述接闪针 1 可以把云层的电荷导入大地，使其不对高层建筑物构成危险。因此，在所述拦截器球体 2 的水平方向和垂直方向设

置若干接闪针 1 可以用于从垂直方向和水平方向接引过顶雷击电流及侧击雷击电流，即从垂直方向和水平方向拦截过顶雷击及侧面雷击。

由于需要采用若干接闪针 1 来实现从垂直方向和水平方向来接引过顶雷击电流及侧击雷击电流，即从垂直方向和水平方向拦截过顶雷击及侧面雷击，若干接闪针 1 的针尖需要保持具有相同的电荷。因此，所述拦截器球体 2 可以用于将所述波导谐振主腔体 4 传给若干接闪针 1 的电荷进行均匀分布。

所述波导谐振副腔体 5 内置有可变电容器。可变电容器是一种电容量可以在一定范围内调节的电容器，可变电容器可以通过改变极片间相对的有效面积或极片间的距离，来改变它的电容量。通常在无线电接收电路中作调谐电容器用。当没有雷电活动时，大地的电场强度相当于晴天时的电场强度，所述雷电拦截器处于静止状态。在发生雷雨天气的时候，在雷云电荷中心底部的下行先导电场的感应作用下，地表将被感应出与雷云的下行先导的电场极性相反的电场，如地表将被感应出与雷云的下行先导的负极性电场相反的正电场。在雷云的下行先导电场的感应下，当地表的电场强度达到预设启动阈值时，所述波导谐振副腔体 5 的可变电容器可以导通，在所述波导谐振副腔体 5 的可变电容器导通之后，所述波导谐振副腔体 5 可以基于地表电场的电荷极性，将雷电拦截装置的电荷极性变换为与地表电场的电荷极性相同的电荷极性；并可以调节所述波导谐振主腔体 4 的谐振电路的启动电压，使得所述波导谐振主腔体 4 的谐振电路开始谐振。

所述波导谐振主腔体 4 内设谐振电路，当所述波导谐振副腔体 5 内设的可变电容器导通之后，所述波导谐振主腔体 4 的谐振电路在所述波导谐振副腔体 5 的调节下，所述谐振电路开始谐振，谐振的实质是电容中的电场能与电感中的磁场能相互转换，此增彼减，完全补偿。在谐振电路的谐振下，所述雷电拦截装置的电场能和磁场能的总和可以时刻保持不变。当所述谐振电路的谐振频率达到预设的频率之后，所述波导谐振主腔体 4 可以产生比地表电场强度高 Q 倍的电压，并且可以将所产生的比地表电场强度高 Q 倍的电压传输到所述接闪针 1 的尖端，当所述接闪针 1 的尖端的电压达到比地表电场的强度高 Q 倍时，所述接闪针 1 的尖端的电场强度随着

雷电的下行先导距离的接近而增大，当达到电晕阈值后可以使所述接闪针 1 的针尖周围的空气发生电离，由此产生电晕电流，其中，该电晕电流和雷电的下行先导的位移电流因可见其亮光又叫流光，此电晕电流在雷电的下行先导电场的作用下，朝着雷电的下行先导端部的方向运动，由此，可以产生预设长度的目标上行先导。

例如，

当没有雷电活动的时刻可以用 t_0 表示。当所述雷电拦截装置处于静态时，若干所述接闪针 1、所述拦截器球体 2、所述球体连接器 3、所述波导谐振主腔体 4、所述波导谐振副腔体 5、所述配谐器 6 可视为一个静态的等效电路，如图 2 所示，图 2 示例了所述雷电拦截装置在非雷雨天气时所组成的一个静态等效电路的示意图。

其中，

ΔZ 表示线元， ΔC_1 表示可变电容， $C_2 \Delta Z$ 表示腔体电容， $G_1 \Delta Z$ 表示腔体电导， $L_1 \Delta Z$ 表示电感， $R_1 \Delta Z$ 表示电阻， $C_3 \Delta Z$ 表示电容， $C_4 \Delta Z$ 表示电容， R_2 表示引下线阻抗。

一般来说，在非雷雨天气，所述雷电拦截装置处于静态状态。大地电场相当于晴天电场，强度约 100V/m ，不足于启动等效电路，所述波导主腔体 4 和所述波导谐振副腔体 5 处于静止状态。此时，所述波导主腔体 4 的电流 $i=0$ ，下行先导的电场 $E=0$ ，上行先导 $i=0$ ，大气阻抗 $Z_0=120\pi\Omega$ 。

当发生雷电活动的时刻可以用 t_1 表示。所述接闪针 1、所述波导谐振主腔体 4、所述波导谐振副腔体 5、所述配谐器 6 组成的等效电路如下图 3 所示，图 3 示例了所述波导谐振主腔体 4 产生所述目标上行先导的过程。

其中，

ΔZ 表示线元， ΔC_1 表示可变电容， $C_2 \Delta Z$ 表示腔体电容， $G_1 \Delta Z$ 表示腔体电导， $L_1 \Delta Z$ 表示电感， $R_1 \Delta Z$ 表示电阻， $C_3 \Delta Z$ 表示电容， $C_4 \Delta Z$ 表示电容， R_2 表示引下线阻抗， r 表示所述接闪针 1 的尖端上方雷击电流的击距，当 r 不等于零时，所述目标上行先导与雷击电流产生的下行先导尚未连接。

雷击电流产生的下行先导的电场强度 $E=E_m \sin(\omega t_1 + \phi)$ ，所述波导谐振

主腔体 4 所产生的所述目标上行先导，电晕电流 $i=I_m\sin(\omega t_1+\phi)$ 。

图 3 所示的向左的虚线箭头的可以视为所述波导谐振主腔体 4 所产生的所述目标上行先导的流向，向右的虚线箭头的可以视为雷击电流产生的下行先导的流向。

5 当 r 为零时，所述目标上行先导与雷击电流的下行先导连接，可以形成雷电放电通道。此时，若干所述接闪针 1、所述拦截器球体 2、所述球体连接器 3、所述波导谐振主腔体 4、所述波导谐振副腔体 5、所述配谐器 6 组成的等效电路如下图 4 所示。

其中，

10 ΔZ 表示线元， ΔC_1 表示可变电容， $C_2\Delta Z$ 表示腔体电容， $G_1\Delta Z$ 表示腔体电导， $L_1\Delta Z$ 表示电感， $R_1\Delta Z$ 表示电阻， $C_3\Delta Z$ 表示电容， $C_4\Delta Z$ 表示电容， R_2 表示引下线阻抗， r 表示所述接闪针 1 的尖端上方雷击电流的击距。 f_0 表示所述波导谐振主腔体 4 所产的预设的谐振频率。

15 当雷击电流的下行先导与所述波导谐振主腔体 4 产生的所述目标上行先导相连接时，此时刻用 t_2 表示。在 t_2 时刻，雷击电流的下行先导与所述目标上行先导相连接，击距 $r=0m$ ，空气阻抗变为 $Z_0=0\Omega$ 。雷电放电电流经过所述波导谐振主腔体 4 的谐振电路和引下线阻抗 R_2 后泄放到地面。雷击电流的多脉冲放电主要包括首次回击，箭式先导，继后回击，末次回击四个过程。同时，按照傅里叶级数分析和变换，可知每个雷电脉冲均包含
20 多个不同频率分量和振幅特性；采用巴塞瓦尔能量等式，可得出其能量频谱分布。

25 当在 t_2 时刻，所述目标上行先导与雷击电流的下先导连接后，将产生首次回击。首次回击脉冲电流的各种频率分量中符合所述波导谐振主腔体 4 的谐振频率带宽限定频率分量从大地经过引下线阻抗 R_2 、 ΔC_1 和所述波导谐振主腔体 4 的谐振电路后沿着已建立的雷电放电通道去中和雷电放电通道和雷云的电荷，运动路径如图 4 虚线所示。而不符合所述波导谐振主腔体 4 的谐振频率带宽限定的频率分量通过所述波导谐振主腔体 4 时，述波导谐振主腔体 2 呈高阻抗，而不符合所述波导谐振主腔体 4 的谐振频率带宽限定的频率分量在所述波导谐振主腔体 4 内得到衰减。同时，根据传

输线原理，这些频率分量在所述波导谐振主腔体 4 中可以产生反射，把电能转化成热能，雷击电流的幅值得到进一步的衰减。

当雷击电流经过所构建雷电放电通道时，若干所述接闪针 1、所述拦截器球体 2、所述球体连接器 3、所述波导谐振主腔体 4、所述波导谐振副腔体 5、所述配谐器 6 组成的等效电路如图 5 所示。

由上述介绍可知，雷电多脉冲放电时，存在着电流方向不随时间变化的连续电流，在连续电流上面存在的小脉冲，叫 M 分量。从图 5 可以看出，所述波导谐振腔体的可变电容器 ΔC_1 ，对直流电流具有隔离作用。雷电放电时，伴随着脉冲放电的同时，会有连续电流和 M 分量一起进入所述波导谐振主腔体 4 和所述波导谐振副腔体 5。当连续电流进入所述波导谐振主腔体 4 和所述波导谐振副腔体 5 后，不能通过 ΔC_1 ，而在所述波导谐振副腔体 5 内实现全反射，反射路径如图 5 环形虚线线条所示。在全反射的过程中可以把雷击电流的电能转化为热能，实现了大幅衰减雷击电流，理论上可达到 50% 以上。而 M 分量，则可以像其它放电脉冲一样通过 ΔC_1 。

其中，经高压试验证明，所述雷电拦截装置可以产生电晕电流的时间比常用的避雷接闪装置产生电晕电流的时间提前 $46.55 \mu s$ ，即本申请所产生的目标上行先导的长度至少超过 50 米。

例如，所述波导谐振主腔体 4 内的谐振电路的 Q 值可设置为 37。

在产生预设长度的目标上行先导后，所述目标上行先导与雷电的下行先导仍尚未连接。由于电晕电流是从大地通过所述波导谐振主腔体 4 的谐振电路谐振后输送到所述接闪针 1 的针尖上，并将针尖周围空气电离后产生电晕电流，在雷电的下行先导电场的作用下，电晕电流向空中朝下行先导端部方向运动。此时，在所述接闪针 1 针尖的上方击距的两端，雷电的下行先导电场极性为负，方向朝下。所述目标上行先导的电场极性为正，方向朝上。当雷电的下行先导与所述目标上行先导连接时，可以形成雷电放电通道，衰减雷电流并将雷电流泄放到地面。

所述配谐器 6 与所述波导谐振副腔体 5 连接，可以用于调节所述波导谐振主腔体 4 和所述波导谐振副腔体 5 的电容及电感等分布参数，以便可以保证所述波导谐振主腔体 4 和所述波导谐振副腔体 5 的正常工作。

本申请实施例可以产生足够长的目标上行先导,以构建雷电放电通道,并采取若干接闪针1来接引不同方向的过顶雷击电流及侧面雷击电流,有效衰减不同方向的雷击电流及减小雷电电磁场强度,因此,本申请可以适用于需要预防直接雷击电流和感应雷击电流的建筑物,尤其适合使用在海陆
5 风电或高压送电系统或高铁接触网等系统中,起到有效拦截来自不同方向雷击电流的作用。不仅提高了待保护的建筑物的安全性,并且节约了使用成本。

由上述介绍的技术方案可知,本申请的所述波导谐振副腔体5可以用于将雷击电流进行衰减,接下来详细介绍该过程,该过程可以如下:

由上述介绍可知,雷击电流在多脉冲放电时,可能存在着电流方向不随时间变化的分量,叫连续电流,在连续电流上面存在的小脉冲,叫M分量。

所述波导谐振副腔体5内设了一个可变电容器,可变电容器对直流电
15 流具有隔离作用。当雷击电流进行放电时,会产生一些连续电流、M分量一起进入所述波导谐振副腔体5。当连续电流进入所述波导谐振副腔体5之后,所述波导谐振副腔体5内设的可变电容器可以对连续电流进行隔断,使得连续电流不能通过所述波导谐振副腔体5内设的可变电容器。根据传输线原理,连续电流中不符合所述波导谐振主腔体4的带宽限定的频率分
20 量也可以在所述波导副腔体5中产生全反射,在连续电流进行全反射的过程中,可以将连续电流的电能转化成热能,实现了进一步衰减首次回击等脉冲电流的频率分量的幅值。

从上述介绍的技术方案可知,本申请的波导谐振副腔体5可以对雷击电流放电过程产生的连续电流进行隔离,在一定程度上将雷击电流如脉冲电
25 流进行衰减。可以实现有效减小雷电电磁场强度,起到有效拦截雷击电流的作用。

在实际应用过程中,所述波导谐振主腔体4还包括振幅频谱选择器41,所述波导谐振主腔体4的振幅频谱选择器41用于在雷电放电过程中,基于

所述雷击电流的双指数波特点识别并确定雷击电流的振幅频谱和能量频谱，以衰减雷击电流。

由上述介绍可知，在雷电放电过程中，可以产生多个雷电脉冲，每个雷电脉冲均包含多个不同频率分量和振幅特性。

- 5 当雷击电流经过所述波导谐振主腔体4时，所述波导谐振主腔体4的振幅频谱选择器41可以基于所述雷击电流的双指数波特点，识别并确定雷击电流的振幅频谱和能量频谱。

- 在雷电放电过程中，当上行先导与下行先导连接形成雷电放电通道后，电荷发生首次回击，电荷从大地沿着放电通道冲向云端去中和放电通道和
10 雷云的电荷。由于雷击电流的能量频谱分布情况已经识别，由此可以确定雷击电流的振幅频谱和能量频谱。因此，雷电放电的电荷首次回击脉冲电流的各种频率分量中符合所述波导谐振主腔体4的谐振频率带宽限定频率分量从大地经过所述波导谐振主腔体4的谐振电路后沿着已建立的雷电放电通道去中和雷电放电通道和雷云的电荷。而当不符合所述波导谐振主腔
15 体4的谐振电路的谐振频率带宽限定的频率分量通过所述波导谐振主腔体4时，所述波导谐振主腔体4会呈现高阻抗，将不符合所述波导谐振主腔体4的谐振电路的谐振频率带宽限定的频率分量进行衰减。同时，根据传输线原理，这些不符合所述波导谐振主腔体4的谐振电路的谐振频率带宽限定的频率分量可以在所述波导谐振主腔体4中产生反射，把电能转化成
20 热能，由此，不符合所述波导谐振主腔体4的谐振电路的谐振频率带宽限定的频率分量的幅值也可以得到进一步衰减。

- 从上述介绍的技术方案可知，本申请中所述波导谐振主腔体4的振幅频谱选择器41可以基于所述雷击电流的双指数波特点识别并确定雷击电流的振幅频谱和能量频谱。以便可以将不符合所述波导谐振主腔体4的谐振电路
25 的谐振频率带宽限定的频率分量进行衰减。同时，也可以将不符合所述波导谐振主腔体4的谐振电路的谐振频率带宽限定的频率分量的幅值进一步衰减。

由上述介绍可知，本申请中的波导谐振主腔体4内设置了谐振电路，

在实际应用过程中，所述谐振电路可以包括：圆形单导体 42，即圆形单导体波导；

所述圆形单导体 42 可以包括横电模或横磁模；

其中，

5 横磁模是指磁场完全分布在与电磁波传播方向垂直的横截面内，电场具有传播方向分量的波型，记作 TM 模。

如果电场只沿着平行于波导界面的 y 方向偏振，电场垂直于光的传播方向 z 是横向的，那么这种模式可称为横电模，TE 模。

10 所述波导谐振主腔体 4 的谐振电路中的圆形导体 42 采用横电模或横磁模可以更好地产生预设的谐振频率。由此，所述圆形单导体 42 可以更好地提高雷电拦截装置的电压倍增的值，并引导电磁波能量定向传播。

由上述介绍可知，本申请的波导谐振主腔体 4 的内设谐振电路可以包括圆形导体 42，所述圆形单导体 42 可以包括横电模或横磁模，可以更好地提高雷电拦截装置的电压倍增的值，并引导电磁波能量定向传播。

15

在实际应用过程中，本申请的雷电拦截装置还可以包括腔体锁 7，图 2 示例了一种本申请提供的雷电拦截装置的结构示意图；

所述腔体锁 7 一端与所述波导谐振副腔体 5 连接，另一端与所述配谐器 6 连接。

20 所述腔体锁 7 可以用于锁定所述波导谐振副腔体 5，可以将所述波导谐振副腔体 5 和所述波导谐振主腔体 4 与外界空气隔离，更好地保护所述波导谐振副腔体 5 和所述波导谐振主腔体 4 不被腐蚀，以保证所述波导谐振副腔体 5 和所述波导谐振主腔体 4 的正常工作。

25 由上述介绍的技术方案可知，本申请中的腔体锁 7 可以将所述波导谐振副腔体 5 和所述波导谐振主腔体 4 与外界空气隔离，更好地保护所述波导谐振副腔体 5 和所述波导谐振主腔体 4 不被腐蚀，以保证所述波导谐振副腔体 5 和所述波导谐振主腔体 4 的正常工作。

在实际应用过程中，本申请的雷电拦截装置还可以包括紧固装置 8；

所述紧固装置 8 一端与所述配谐器 6 连接，

所述紧固装置 8 可以用于将雷电拦截装置固定于待保护的建筑物。

由上述介绍可知，本申请中的紧固装置 8 可以用于将雷电拦截装置固定于待保护的建筑物。因此，可以将雷电拦截装置独立安装在待保护的建筑物中，起到有效拦截雷击电流的作用。不仅提高了待保护的建筑物安全性，并且节约了雷电拦截的使用成本。

由上述介绍可知，所述配谐器 6 可以调节所述波导谐振主腔体 4 和所述波导谐振副腔体 5 的电容及电感等分布参数，以便可以保证所述波导谐振主腔体 4 和所述波导谐振副腔体 5 的正常工作。

在实际应用过程中，不同长度、不同直径的配谐器有不同的参数。为了更好地实现雷电拦截装置拦截雷击电流，通过选择不同长度和不同直径的配谐器来实现。所述配谐器 6 对所述波导谐振主腔体 4 及所述波导谐振副腔体 5 的参数有微小的影响。由此，可以根据实际需求将所述配谐器 6 设置为预设长度、预设直径的圆形金属管或圆形金属杆。

例如，可以将所述配谐器 6 设置为长度为 200mm-260mm，直径设置为 25mm-28mm 的圆形金属管或圆形金属杆。以保证所述配谐器 6 的固有电感 $L=0.5-0.8\mu H$ ，固有电容 $C=500-800PF$ 。

从上述介绍的技术方案可知，本申请的配谐器 6 可根据需要采用不同长度和不同直径的圆形金属管或圆形金属杆，来实现有效调节所述波导谐振主腔体 4 及所述波导谐振副腔体 5 的电容和电感等分布参数，以保证所述波导谐振主腔体 4 及所述波导谐振副腔体 5 的正常工作。

最后，还需要说明的是，在本文中，诸如第一和第二等之类的关系术语仅仅用来将一个实体或者操作与另一个实体或操作区分开来，而不一定要求或者暗示这些实体或操作之间存在任何这种实际的关系或者顺序。而且，术语“包括”、“包含”或者其任何其他变体意在涵盖非排他性的包含，从而使得包括一系列要素的过程、方法、物品或者设备不仅包括那些要素，而且还包括没有明确列出的其他要素，或者是还包括为这种过程、方法、

物品或者设备所固有的要素。在没有更多限制的情况下，由语句“包括一个……”限定的要素，并不排除在包括所述要素的过程、方法、物品或者设备中还存在另外的相同要素。

5 本说明书中各个实施例采用递进的方式描述，每个实施例重点说明的都是与其他实施例的不同之处，各个实施例之间相同相似部分互相参见即可。

10 对所公开的实施例的上述说明，使本领域专业技术人员能够实现或使用本申请。对这些实施例的多种修改对本领域的专业技术人员来说将是显而易见的，本文中所定义的一般原理可以在不脱离本申请的精神或范围的情况下，在其它实施例中实现。各个实施例之间可以相互组合。因此，本申请将不会被限制于本文所示的这些实施例，而是要符合与本文所公开的原理和新颖特点相一致的最宽的范围。

权 利 要 求

1、一种雷电拦截装置，其特征在于，包括：

若干接闪针、拦截器球体、球体连接器、波导谐振主腔体、波导谐振副腔体、配谐器；所述接闪针、所述拦截器球体、所述球体连接器、所述
5 波导谐振主腔体、所述波导谐振副腔体、所述配谐器的材质均为金属；

若干所述接闪针分别从垂直方向及水平方向与所述拦截器球体的表面连接，所述拦截器球体、所述球体连接器、所述波导谐振主腔体、所述波导谐振副腔体、所述配谐器依次连接；

所述接闪针用于从垂直方向和水平方向接雷击电流；

10 所述球体连接器用于维持所述拦截器球体与所述波导谐振主腔体之间的电气通路；

所述拦截器球体用于将所述波导谐振主腔体传给若干接闪针的电荷均匀分布；

当地表电场强度达到预设启动阈值时，所述波导谐振副腔体内置的可
15 变电容器导通，并基于地表电场的电荷极性，将雷电拦截装置的电荷极性变换为与地表电场的电荷极性相同的电荷极性；并调节所述波导谐振主腔体的谐振电路的启动电压，使得所述波导谐振主腔体的谐振电路开始谐振；

所述波导谐振主腔体内置谐振电路，在所述波导谐振副腔体的调节下，所述谐振电路的谐振频率达到预设的频率，产生比地表电场强度高 Q 倍的
20 电压，并传输到若干所述接闪针的尖端，产生预设长度的目标上行先导；当雷电的下行先导与所述目标上行先导连接时，形成雷电放电通道，将雷击电流泄放到地面；

所述配谐器用于调节所述波导谐振主腔体和所述波导谐振副腔体内的分布参数。

25 2、根据权利要求 1 所述的雷电拦截装置，其特征在于，当雷击电流放电时，所述波导谐振副腔体的可变电容器用于将伴随雷击电流放电产生的连续电流进行隔离，以实现衰减雷击电流。

3、根据权利要求 2 所述的雷电拦截装置，其特征在于，所述当雷击电流放电时，所述波导谐振副腔体的可变电容器将伴随雷击电流放电产生的

连续电流进行隔离，以实现衰减雷击电流的过程，包括：

当雷击电流放电时，所述波导谐振副腔体内置的可变电容器将伴随雷击电流产生的连续电流隔离；

5 并将所述连续电流的电磁波进行全反射，把连续电流的电能转化为热能，以实现衰减雷击电流。

4、根据权利要求1所述的雷电拦截装置，其特征在于，所述波导谐振主腔体还包括：振幅频谱选择器，

所述波导谐振主腔体的振幅频谱选择器用于基于所述雷击电流的双指数波特点识别并确定雷击电流的振幅频谱和能量频谱，以供所述波导谐振主腔体基于雷击电流的振幅频谱和能量频谱，对雷击电流进行衰减。
10

5、根据权利要求1所述的雷电拦截装置，其特征在于，所述波导谐振主腔体内置的谐振电路，包括：圆形单导体；

所述圆形单导体包括横电模或横磁模；

所述圆形单导体用于提高雷电拦截装置的电压倍增的值，并引导电磁波能量定向传播。
15

6、根据权利要求1所述的雷电拦截装置，其特征在于，所述波导谐振主腔体和所述波导谐振副腔体内的分布参数，包括：电感和电容。

7、根据权利要求1所述的雷电拦截装置，其特征在于，还包括：腔体锁；

所述腔体锁的一端与所述波导谐振副腔体连接，另一端与所述配谐器连接，
20

所述腔体锁用于锁定所述波导谐振副腔体，以将所述波导谐振副腔体和所述波导谐振主腔体与外界空气隔离。

8、根据权利要求1-7任一项所述的雷电拦截装置，其特征在于，还包括：紧固装置；

25 所述紧固装置一端与所述配谐器连接，

所述紧固装置用于将雷电拦截装置固定于待保护的建筑物。

9、根据权利要求1-7任一项所述的雷电拦截装置，其特征在于，所述配谐器为预设长度、预设直径的圆形金属管或圆形金属杆。